

# Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit *Off-grade* Menggunakan CaO/*Fly Ash* sebagai Katalis Pada Tahap Transesterifikasi

Viqrie Wahyudi<sup>1</sup>, Zuchra Helwani<sup>2</sup>, Edy Saputra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, <sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Kimia,  
Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293  
viqriewahyudi@gmail.com

## ABSTRACT

*Indonesia needs the development of renewable energy. Biodiesel is one of renewable energy that formed as liquid fuel and has same property with petrodiesel. Biodiesel is able to be synthesis from off-grade palm oil using CaO/fly ash as catalyst in transesterification process. Employing fly ash as support in CaO has a good impact due to environmentally friendly, good economic potential and the utilization of Ca compound in fly ash. Biodiesel production in this study aims is to see the influence of reaction temperature, molar ratio of methanol and oil and concentration of CaO/fly ash towards biodiesel yield. The process was conducted through reaction of esterification and followed by transesterification reaction. Processing the data in this study was conducted by Response Surface Methodology (RSM) using Design Expert 7.0 program which is experimental design determined by Central Composite Design (CCD) which consists of three variables. The highest result of biodiesel yield was 59,34% at 70°C reaction temperature, molar ratio of methanol : oil 6 : 1 and catalyst concentration of CaO/fly ash 6%-w. Biodiesel characteristics like as density, kinematic viscosity, acid value and flash point has been appropriate by Indonesian biodiesel standard. The most significant process condition affecting the yield of biodiesel was catalyst concentration.*

**Keywords:** *biodiesel, off-grade palm oil, catalyst, fly ash, transesterification*

## 1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar cair yang mempunyai sifat menyerupai diesel dengan hasil pembakaran lebih bersih dibandingkan dengan diesel [Helwani dkk., 2009]. Biodiesel dapat disintesis dari minyak jarak pagar, bunga matahari, kedelai, sawit dan sebagainya [Hambali, 2007]. Namun, biodiesel dari minyak sawit lebih banyak dikembangkan mengingat ketersediaannya yang banyak di Indonesia. Data dari Badan Pusat Statistik tahun 2013 menunjukkan bahwa luas area perkebunan sawit di Indonesia tahun 2008 mengalami peningkatan dari 4,5 juta hektar menjadi 5,6

juta hektar pada tahun 2013 dan diperkirakan akan terus mengalami peningkatan setiap tahunnya.

Tidak semua buah sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Buah sawit matang (*on-grade*) lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel daripada buah sawit *off-grade*. Pengolahan sawit *off-grade* menjadi bahan baku alternatif biodiesel memiliki nilai profit yang tinggi. Penggunaan sawit *off-grade* dapat mengurangi biaya produksi karena selama ini sawit *off-grade* dijual kepihak lain dengan harga 30-40% lebih murah dari

tandan buah sawit (TBS) biasa, sehingga hal ini dapat merugikan petani maupun pihak pabrik sawit [Arifin, 2009].

Sawit *off-grade* memiliki kadar Asam Lemak Bebas (ALB) yang tinggi sehingga dibutuhkan perlakuan awal untuk menurunkan kadar ALB. Kadar ALB yang tinggi akan mempersulit proses produksi biodiesel dan menurunkan *yield* biodiesel. Salah satu perlakuan awal yang digunakan untuk menurunkan kadar ALB adalah reaksi esterifikasi. Setelah kadar ALB <2% maka dilanjutkan ke tahap transesterifikasi. Katalis yang biasa digunakan pada tahap transesterifikasi adalah katalis basa homogen. Katalis basa homogen pada reaksi transesterifikasi dapat bereaksi dengan Asam Lemak Bebas (ALB) membentuk sabun, sehingga akan menyulitkan pemisahan gliserol dan mengurangi *yield* biodiesel [Yan dkk., 2009].

Menurut Chouhan dan Sarma (2011), katalis homogen dapat digantikan dengan katalis heterogen yang lebih ramah lingkungan, stabil pada suhu tinggi, pori yang besar dan harga yang relatif murah. Keuntungan penggunaan katalis heterogen pada transesterifikasi adalah mengurangi air yang terbuang dan katalis dapat digunakan kembali untuk proses selanjutnya [Sharma dkk., 2011]. Katalis heterogen yang saat ini telah dikembangkan diantaranya CaO, CaCO<sub>3</sub> dan Ca(OH)<sub>2</sub> [Kouzu dkk., 2007], Ca(OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> [Liu dkk., 2008b], CaO/*Fly ash* [Ho dkk., 2014], Zeolit Alam-KOH [Ulfayana dan Helwani, 2014] dan sebagainya.

Menurut Ho dkk (2014), pengembangan CaO sebagai katalis pada proses transesterifikasi difokuskan untuk melihat kemampuan CaO sebagai katalis yang dapat digunakan kembali. Keuntungan menggunakan CaO antara lain kebiasaan yang tinggi, kelarutan yang rendah, penggunaan yang lebih mudah, memudahkan proses pemisahan dengan

produk biodiesel serta tidak membutuhkan air pencucian yang berlebihan. Namun jika katalis CaO digunakan pada proses transesterifikasi, ion oksigen (O<sup>2-</sup>) pada permukaannya mudah membentuk ikatan hidrogen dengan metanol atau gliserol sehingga akan menyulitkan proses pemisahan. Untuk mengatasi masalah tersebut, CaO harus diimpregnasi dengan penyokongnya [Liu dkk., 2010].

## 2. Metode Penelitian

### Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan yaitu minyak dari sawit *off-grade* yang diperoleh dari hasil ekstraksi, aquades, *fly ash*, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, metanol p.a, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, etanol teknis, asam oksalat, kertas saring, indikator PP dan KOH.

### Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan 100 dan 200 mesh, labu leher tiga 500 ml, *magnetic stirrer*, oven, furnace, heating mantel, hot plate, timbangan analitik, reaktor biodiesel, kondenser, *spindle press*, piknometer 10 ml, viskometer Oswald, gelas piala 250 ml, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur 50 ml, *magnetic stirrer*, hot plate, Cleveland Flash Point Tester, statif, GC-MS (Kromatografi Gas-Spektrometer Massa), XRD (*X-Ray Diffraction*).

### Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

#### 1. Pembuatan Katalis CaO/*Fly Ash*

Tahap pertama adalah *fly ash* diayak dengan ukuran ayakan -100+200 mesh dimana partikel *fly ash* yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh. *Fly ash* dikeringkan pada suhu 105°C untuk menghilangkan kadar air. Selanjutnya *fly ash* dan Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O ditimbang dengan

persentase berat 55%-b *fly ash* dan 45%-b  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditambahkan aquades. Kondisi proses dilakukan pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kemudian, *fly ash* ditambahkan secara perlahan. Setelah 4 jam, proses dihentikan. Hasil dari pencampuran ini akan terbentuk *slurry*. *Slurry* dikeringkan pada suhu  $105^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{HNO}_3$  yang masih bersisa. Setelah itu *slurry* ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan *fly ash*) dikalsinasi selama 2 jam pada suhu  $850^\circ\text{C}$  [Ho dkk., 2014]. Katalis yang dihasilkan kemudian dianalisa kebasaannya menggunakan indikator Hammet (fenolftalein).

## 2. Reaksi Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan karena minyak sawit *off-grade* memiliki kadar ALB lebih dari 2 %. Minyak hasil ekstraksi buah sawit *off-grade* ditimbang sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam reaktor esterifikasi. Proses dilakukan pada reaktor berpengaduk secara *batch* dan ditempatkan di atas pemanas untuk menjaga suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai ( $60^\circ\text{C}$ ), pereaksi metanol dengan rasio mol metanol : minyak = 12:1 dan katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1%-b ditambahkan. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dengan kecepatan 400 rpm dan reaksi berlangsung selama 1 jam. Kemudian campuran dipisahkan dalam corong pisah. Lapisan atas berupa katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan metanol sisa dipisahkan dari lapisan bawah yang akan dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi. Sebelum dilanjutkan ketahap transesterifikasi lapisan bawah ini diperiksa kadar ALB-nya [Budiawan dkk., 2013].

## 3. Reaksi Transesterifikasi

Proses transesterifikasi dilakukan untuk mendapatkan biodiesel dengan mengkonversi trigliserida yang terdapat di

dalam minyak sawit *off-grade*. Lapisan bawah pada pemisahan produk hasil reaksi esterifikasi dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi sebanyak 100 ml, kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi yang telah ditentukan tercapai, tambahkan pereaksi metanol dan katalis  $\text{CaO-FA}$ . Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan pada kecepatan pengadukan 400 rpm. Setelah reaksi berlangsung selama 3 jam, kemudian campuran didinginkan dan disaring dengan kertas saring *wathman* secara vakum. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya. Filtrat yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel [Kusuma dkk., 2011].

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Ekstraksi Sawit *Off-grade*

Biodiesel disintesis menggunakan bahan baku sawit *off-grade* yang telah diekstraksi. Berondolan sawit *off-grade* dikukus terlebih dahulu dengan tujuan untuk melunakkan *mesocarp* buah dan deaktivasi enzim lipase sehingga dapat mencegah peningkatan kadar ALB pada minyak yang dihasilkan [Budiawan dkk., 2013].

Minyak sawit *off-grade* dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya seperti densitas, viskositas, kadar air dan kadar asam lemak bebas. Analisis karakteristik diperlukan untuk mengetahui perlakuan awal yang dibutuhkan pada proses pembuatan biodiesel. Karakteristik minyak sawit *off-grade* ditampilkan pada Tabel 1.

Sawit *off-grade* yang digunakan pada proses pembuatan biodiesel memiliki kadar air dan kadar asam lemak bebas (ALB) yang tinggi. Kadar air yang tinggi dalam minyak menyebabkan terjadinya hidrolisis yang merupakan salah satu penyebab terbentuknya ALB. Selain itu, air juga dapat bereaksi dengan katalis sehingga akan menyebabkan jumlah katalis pada reaksi berkurang [Ulfayana dan Helwani, 2015].

**Tabel 1.** Karakteristik Minyak Sawit *Off-grade*

No	Karakteristik	Satuan	Hasil Penelitian	Standar CPO SNI 01-2901-2006
1	Warna		Jingga kemerahan	Jingga kemerahan
2	Densitas (40°C)	kg/m <sup>3</sup>	892,11	-
3	Viskositas (40°C)	mm <sup>2</sup> /s	29,47	-
4	Kadar air	%	3,5	Maks 0,5
5	Kadar asam lemak bebas	%	6,19	Maks 0,5

### 3.2 Katalis CaO/FA

Penggunaan katalis CaO/FA pada proses transesterifikasi minyak menjadi biodiesel akan mempengaruhi kualitas, jumlah produk dan kondisi proses. Sifat dari CaO yang mudah bereaksi dengan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O akan mengakibatkan terjadinya penurunan selektivitas katalis yang juga berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Gliserol dan metanol akan membentuk emulsi dengan CaO sehingga akan menyulitkan proses pemisahan [Liu dkk., 2009].

Proses kalsinasi CaO/FA dilakukan pada temperatur 850°C selama 2 jam. Katalis CaO/FA kemudian diuji kebiasaannya. Berdasarkan indikator Hammet (fenolftalein), terjadi perubahan warna dari tidak berwarna menjadi ungu. Hal ini menandakan bahwa katalis memiliki kebiasaan  $H_- > 9,3$  [Helwani dkk., 2013].

### 3.3 Yield dan Karakteristik Biodiesel

#### 3.3.1 Yield Biodiesel

*Yield* biodiesel yang didapatkan dengan menggunakan katalis CaO/FA bervariasi mulai dari 15,94% hingga 59,34%. *Yield* biodiesel terendah diperoleh sebanyak 15,94% pada kondisi proses temperatur reaksi 50°C, rasio mol 6 : 1 dan konsentrasi katalis 2%. Sedangkan *yield* biodiesel tertinggi diperoleh sebanyak 59,34% pada kondisi proses temperatur reaksi 70°C, rasio mol 6 : 1 dan konsentrasi

katalis 6%. Hasil yang didapat lebih rendah dibandingkan Ho dkk. (2014).

Berdasarkan perhitungan awal dengan perbandingan berat molekul, kadar CaO yang terdapat dalam katalis sebesar 16,36%. Sementara Ho, dkk (2014) menggunakan katalis CaO/*fly ash* dengan kadar CaO sebesar 83%. Ho, dkk (2014) mendapatkan *yield* biodiesel tertinggi sebesar 75,73% sedangkan pada penelitian ini mendapatkan *yield* biodiesel tertinggi sebesar 59,34%. Hal ini menunjukkan bahwa komponen yang berperan besar sebagai katalis adalah CaO. Peningkatan konsentrasi CaO pada katalis dapat meningkatkan persentase *yield* biodiesel.

#### 3.3.2 Karakteristik Biodiesel

Karakterisasi biodiesel dibutuhkan untuk membandingkan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dengan standar mutu biodiesel Indonesia sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhannya. Karakteristik yang dianalisis diantaranya adalah densitas, viskositas kinematik, titik nyala dan angka asam yang ditampilkan pada Tabel 2.

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa semua karakteristik biodiesel telah sesuai dengan standar SNI 04-7182-2006. Densitas dan viskositas biodiesel akan mempengaruhi sistem pembakaran dan injeksi pada mesin. Titik nyala yang sesuai standar menandakan biodiesel aman dalam proses transportasi dan penyimpanannya. Angka asam yang

**Tabel 2** Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

No	Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas	kg/m <sup>3</sup>	871,67	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm <sup>2</sup> /s	4,037	2,3 – 6,0
3	Titik nyala	°C	135	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,396	Maks. 0,8
5	Kadar alkil ester	%-massa	100	Min. 96,5

sesuai standar menandakan biodiesel tidak bersifat korosif [Budiawan dkk.,2013].

### 3.3.3 Desain dan Analisis Model Yield Biodiesel

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Data hasil percobaan dianalisis dengan rancangan percobaan (*design experiment*) metode statistik *Central Composite Design* (CCD) dan diolah menggunakan program *Design Expert 7.0*. Program akan mengeluarkan model dan grafik yang menunjukkan pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien – koefisien model yaitu temperatur reaksi, rasio mol dan konsentrasi katalis terhadap respon berupa *yield* biodiesel.

Metode *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan metode yang digunakan untuk melakukan proses optimasi. Model yang sering digunakan untuk RSM adalah model polynomial orde 1 dan orde 2. Pada model orde I, perlu dilakukan uji kecocokan model untuk melihat tepat atau tidaknya dugaan model yang dilakukan. Apabila model tidak linier atau terdapat pola lengkung (*curvature*), maka model orde 1 tidak cocok digunakan dan digunakan model orde 2 [Montgomery, 2009].

Data *yield* biodiesel selanjutnya diolah dengan menggunakan program

*Design Expert 7.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan persamaan 3.1.

$$Y = 21,41 + 3,75 X_1 + 2,62 X_2 + 8,3 X_3 - 4,6 X_1X_2 + 2,151 X_1X_3 - 4,32 X_2X_3 + 8,82 X_1^2 + 6,01 X_2^2 + 5,16 X_3^2 \dots(3.1)$$

Yang mana, Y = *Yield* biodiesel (%)

X<sub>1</sub> = Temperatur reaksi (°C)

X<sub>2</sub> = Rasio mol (mol)

X<sub>3</sub> = Konsentrasi katalis (%-b)

### 3.3.4 Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya terhadap Yield Biodiesel

#### a. Pengaruh Kondisi Proses

Kondisi proses pada pembuatan biodiesel antara lain temperatur reaksi (X<sub>1</sub>), rasio mol metanol : minyak (X<sub>2</sub>), dan konsentrasi katalis CaO/FA (X<sub>3</sub>). Dari hasil pengujian *P-value*, semua kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Namun yang paling memberikan pengaruh adalah konsentrasi katalis CaO/FA (X<sub>3</sub>).

Konsentrasi katalis CaO/FA dipengaruhi oleh komposisi kimianya. Komposisi CaO berperan penting sebagai katalis pada proses transesterifikasi. Semakin tinggi konsentrasi katalis CaO/FA akan meningkatkan konsentrasi CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub> sehingga *yield* biodiesel juga akan semakin meningkat. Namun peningkatan konsentrasi katalis akan meningkatkan pengaruh perpindahan massa [Liu dkk., 2008]. Pada reaksi dengan viskositas yang



tinggi akan menghasilkan difusi massa yang rendah antara metanol-minyak-katalis heterogen [Kotwal dkk., 2009].

Reaksi transesterifikasi dapat dilangsungkan pada rentang temperatur kamar hingga mendekati titik didih metanol. Semakin tinggi temperatur reaksi maka *yield* biodiesel yang dihasilkan akan semakin tinggi. Pada reaksi dengan temperatur reaksi di atas titik didih metanol akan meningkatkan tumbukan antara partikel metanol dan minyak. Selain itu penggunaan sistem refluks akan membuat produksi biodiesel lebih efisien dari segi ekonomi dan lingkungan [Dhar dan Kirtania, 2009].

Rasio mol metanol : minyak berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Pada stoikiometri reaksi transesterifikasi, satu mol minyak membutuhkan tiga mol alkohol untuk memproduksi tiga mol metil ester dan satu mol gliserol. Penambahan jumlah mol metanol bertujuan agar reaksi bergerak kearah produk karena reaksi yang terjadi merupakan reaksi kesetimbangan. Namun peningkatan rasio mol metanol : minyak tidak terlalu berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Hal ini dikarenakan semakin tinggi rasio mol metanol : minyak maka akan terbentuk emulsi antara katalis dengan metanol dan gliserol. Sementara itu, peningkatan konsentrasi metanol akan menurunkan *yield* dikarenakan terjadinya peningkatan kelarutan metanol-gliserol yang akan mengganggu pemisahan gliserol [Ho dkk., 2014].

#### **b. Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap *Yield* Biodiesel**

Berdasarkan pengujian *P-value* tidak semua interaksi kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Interaksi antara temperatur dan rasio mol metanol : minyak memberikan pengaruh paling besar dibandingkan dengan interaksi lainnya.

*Yield* biodiesel tertinggi didapatkan pada kondisi rasio mol metanol : minyak 10 : 1 dan temperatur 50°C. Semakin besar rasio mol metanol : minyak pada temperatur 50°C maka *yield* biodiesel akan meningkat. Peningkatan rasio mol metanol : minyak akan meningkatkan *yield* biodiesel dikarenakan semakin banyaknya reaktan akan mendorong reaksi ke arah kanan (Liu dkk., 2008a). Sementara itu, temperatur reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada interaksi antara rasio mol metanol : minyak dan temperatur reaksi. Peningkatan temperatur reaksi hanya akan meningkatkan konsumsi energi pada proses pembuatan biodiesel [Ho dkk., 2014].

Di lain pihak, interaksi antara rasio mol metanol : minyak dan konsentrasi katalis juga memberikan pengaruh terhadap *yield* biodiesel. peningkatan *yield* biodiesel berbanding lurus dengan rasio mol metanol : minyak dan konsentrasi katalis pada temperatur 50°C. Peningkatan *yield* biodiesel membutuhkan rasio mol metanol : minyak dan konsentrasi katalis yang tinggi. Pada temperatur yang rendah (50°C) tumbukan antara partikel metanol dan minyak terjadi lebih sedikit sehingga *yield* biodiesel yang didapatkan juga semakin sedikit. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa pada temperatur rendah, energi yang dibutuhkan untuk molekul reaktan bertumbukan tidak mencukupi [Helwani dkk., 2016].

Jika rasio mol metanol : minyak tinggi namun tidak diikuti dengan konsentrasi katalis yang tinggi maka metanol tidak bereaksi sempurna dengan minyak. Sedangkan jika konsentrasi katalis tinggi namun tidak diikuti dengan rasio mol metanol : minyak yang tinggi akan meningkatkan pengaruh perpindahan massa dari ketiga campuran. Pencampuran pada reaksi dengan viskositas yang tinggi akan mengakibatkan rendahnya difusi massa pada

sistem metanol-minyak-katalis heterogen [Kotwal dkk., 2009].

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan yaitu biodiesel dapat dihasilkan dari minyak sawit *off-grade* yang berkualitas rendah melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan menggunakan katalis CaO/FA pada tahap transesterifikasi. *Yield* biodiesel tertinggi didapat sebanyak 59,34% pada kondisi proses suhu reaksi 70°C, rasio mol metanol : minyak 6:1 dan konsentrasi katalis CaO/FA 6%. Model persamaan orde dua penelitian ini adalah  $Y = 21,41 + 3,75 X_1 + 2,62 X_2 + 8,3 X_3 - 4,6 X_1X_2 + 2,151 X_1X_3 - 4,32 X_2X_3 + 8,82 X_1^2 + 6,01 X_2^2 + 5,16 X_3^2$ . Kondisi operasi yang paling memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah konsentrasi katalis. Peningkatan konsentrasi katalis akan meningkatkan *yield* biodiesel. Selain itu, katalis CaO/FA memiliki kebiasaan  $\geq 9,3$ .

### Daftar Pustaka

Arifin, J.K. 2009. Pemanfaatan Buah Sawit Sisa Sortiran sebagai Sumber Bahan Baku Asam Lemak. *Tesis*. Program S2 Teknik Kimia Universitas Sumatra Utara. Medan.

Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia : Biodiesel. SNI 04-7182-2006.

Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia : Minyak Kelapa Sawit Mentah. SNI 01-2901-2006.

Budiawan, R.Zulfansyah, W. Fatra dan Z. Helwani. 2013. Off-grade Palm Oil as A Renewable Raw Material for Biodiesel Production by Two-Step Processes. *ChESA Conference*. Januari. Banda Aceh. 7: 40 – 50.

Dhar, B.P dan K. Kirtania. Excess Methanol Recovery in Biodiesel Production Process Using a Distillation Column :

A Simulation Study. *Chemical Engineering Research Bulletin*. 13 : 55- 60.

Hambali, E. 2007. Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel. Penerbit Swadaya. Jakarta.

Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J. Kim dan W. J. N. Fernando. 2009. Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol : A Review. *Applied Catalysis A : General*. 369: 1 -10.

Helwani, Z., N. Aziz, M.Z.A. Bakar, H. Mukhtar, J. Kim dan M.R. Othman. 2013. Conversion of Jatropha Curcas Oil into Biodiesel Using Re-Crystallized Hydrotalcite. *Energy Conversion and Management*. 73 : 128 – 134.

Helwani, Z., N. Aziz, J. Kim dan M. R. Othman. 2016. Improving The Yield of Jatropha Curcas's FAME through Sol-Gel Derived Meso-porous Hydrotalcites. *Renewable Energy*. 86: 68-74.

Ho, W.W.S., H.K. Ng, S.Gan dan S.H. Tan. 2014. Evaluation of Palm Oil Mill Fly Ash Supported Calcium Oxide as A Heterogenous Base Catalyst in Biodiesel Synthesis from Crude Palm Oil. *Energy Conversion and Management*. 88 : 1167-1178.

Kotwal, M.S., P.S. Niphadkar, S.S. Deshpande, V.V. Bokade dan P.N. Joshi. 2009. Transesterification of Sunflower Oil Catalysed by Fly Ash-Based Solid Catalysts. *Fuel*. 88 : 8- 1773.

Kouzu, M., T. Kasuno, M. Tajika, Y. Sugimoto, S. Yamanaka dan J. Hidaka. 2007. Calcium Oxide as Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil and its Application to Biodiesel Production. *Fuel*. 87:2798 - 2806.

- Kusuma, R.I., J.P. Hadinoto, A. Ayucitra dan S. Ismadji. 2011. Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis Murah dalam Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Liu, C., L.V., Pengmei. Yuan, Z., F. Yan dan W. Luo. 2010. The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst for Production of Biodiesel. *Renewable Energy*. 15 : 1531-1536.
- Liu, X., Piao, X., Y. Wang dan S. Zhu. 2008b. Calcium Ethoxide as A Solid Catalyst for The Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel. *Energy & Fuels*. 22 : 1313-1317.
- Montgomery, C.D. 2001. Design and Analysis of Experiments 5<sup>th</sup> Edition. *John Wiley & Sons, Inc.* New York.
- Ulfayana, S. dan Z. Helwani. 2014. Natural Zeolite for Transesterification Step Catalysts in Biodiesel Production from Palm Off Grade. *Abstract Book : Regional Conference on Chemical Engineering*. Desember. Yogyakarta. 7 : 22.
- Yan, S., O. Steven, Salley dan K.Y. Simon. 2009. Simultaneous Transesterification and Esterification of Unrefined or Waste Oils Over ZnO-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts. *Applied Catalysis A : General*. 353:203 – 212.